解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2022年度　東海大学　2日目

【 講 評 】

一日目よりやや難度が上がっている。問題文を精確に読み、状況をきちんと捉えられないと高得点は厳しい。6割程度で十分合格圏内だろう。

1 は鉛直運動をする二物体についての問題。前半は容易だが、後半は、速度交換則を基に速度の動きに着目して、一物体問題に落とし込めたかで処理量が大きく変わる。

2 は磁場中の荷電粒子の運動の問題。問題文をきちんと読めば十分解答できる難易度だが、完答はなかなか難しいであろう。

3 はピストン中の気体の問題。処理自体は単純だが量が多く、無次元化や近似計算などを日頃から訓練しているかが問われる。

4 は二重スリットによる干渉の問題。典型的であり、(4) までは落とせない。

【 解 答 ・ 解 説 】

$\boxed{1}$

解答

(1) $\sqrt{\frac{2h}{g}}$　　(2) 5 倍　　(3) $\sqrt{\frac{10h}{g}}$

(4) $\left(16\sqrt{5}-35\right)h$　　(5) 6 倍

解説

(1) 初速 0 で加速度の大きさ g の等加速度運動を距離 h にわたって行うので、

$$h=\frac{1}{2}\,gT^2,$$

が成立し、$T=\sqrt{2h/g}$ である。

(2) $t=2T$ で小球 A は $x=h$ に戻る。この間に、小球 B は $x=h'\to h$ と運動しなければならないので、

$$h'-h=\frac{1}{2}\,g(2T)^2=4h,$$

となり、h' は h の 5 倍である。

(3) 同質量の弾性衝突であるので、衝突により小球 A と B の速度は交換する。よって、T' は小球 A がなかった場合に小球 B が床と衝突する時刻と同じであり、

$$T'=\sqrt{\frac{2h'}{g}}=\sqrt{\frac{10h}{g}}.$$

(4) $t>T'$ で小球 A と小球 B が衝突後、$t=T''$ で小球 B は $x=h'$ に戻る。この時刻は、小球 A がない場合に小球 B が元の位置に戻る際にかかる時間と同じであり、$T''=2T'$ である。一方、小球 A は、小球 B がない場合に $t=3T$ で床から初速 $\sqrt{2gh}$ で鉛直投げ上げした場合の運動と同じ軌跡をとる。そのため、求める位置は、

$$\sqrt{2gh}(T''-3T)-\frac{1}{2}\,g(T''-3T)^2=\left(16\sqrt{5}-35\right)h.$$

(5) 2 回の衝突により速度の交換が 2 回行われるので、

- 1 回目の衝突までの小球 A
- 1 回目の衝突と 2 回目の衝突の間の小球 B
- 2 回目の衝突後の小球 A

の運動の軌跡は、$x=h$ からの鉛直投げ上げ運動に一致する。この運動が時間 T'' で行われるので、最高点に達する時刻は $t=T''/2=T'$ であり、この時間で速度 0 となるため、初速は gT' である。よって、

$$H-h=gT'\cdot T'-\frac{1}{2}\,gT'^2=5h,$$

より、$H=6h$ である。

$\boxed{2}$

解答

(1) qv_xB　　(2) $\dfrac{E}{B}$　　(3) $\dfrac{m}{qB}\left(v-\dfrac{E}{B}\right)$

(4) $\dfrac{\alpha}{1+\alpha}\,vB$　　(5) $\dfrac{1}{2}\,vB$

解説

(1) ローレンツ力は、速度ベクトルと磁場ベクトルの外積に電荷をかけて求められる。

(2) 電場から荷電粒子はは電場ベクトルと電荷の積で求められ、その力とローレンツ力の合成を考える。

(3) 粒子の運動の円運動成分は、初速が $(v-E/B)$ の磁場中の運動と同一視できる。向心力の大きさが $q(v-E/B)B$ であるから、円運動の半径 r は、円運動の運動方程式

$$\frac{m(v-E/B)^2}{r}=q(v-E/B)B,$$

より、$m(v-E/B)/qB$ となる。

(4) 粒子の x 方向の変位は、円運動成分と平行移動成分を合成することで、

$$x=\frac{m(v-E/B)}{qB}\sin\left(\frac{qB}{m}\,t\right)+\frac{E}{B}\,t$$

となる。これが常に正であればよいので、

$$\frac{mE/qB^2}{m(v-E/B)/qB}>\alpha,$$

より、$E>\alpha vB/(1+\alpha)$ がわかる。

(5) 図 3 や図 4 のようにならない条件は、速度が負になる区間が存在することと同値である。すなわち、中心が移動する速度の大きさが $v-E/B$ より小さければよく、$E/B<v-E/B$ より、$E<vB/2$ である。

$\boxed{3}$

解答

(1) エ　(2) オ　(3) カ　(4) ア　(5) イ

解説

(1) 下部の気体の圧力を P_0' とすると、ピストン B についての力のつりあいより、

$$P_0' = P_0 + \frac{Mg}{S},$$

がわかる。温度と体積が一致するので、気体の物質量比と圧力比は一致し、求める比は $P_0'/P_0 = 1 + Mg/P_0S$ となる。

(2) 状態 1 での上部の気体の圧力は、ピストン A についての力のつりあいより $P_0 + 2Mg/S$ である。このこととピストン B についての力のつりあいより、状態 1 での下部の気体の圧力は $P_0 + 3Mg/S$ である。下部の気体について、ポアソンの法則より、状態 1 での高さ ℓ_1 とすると、

$$\left(P_0 + \frac{Mg}{S}\right)\ell^{5/3} = \left(P_0 + \frac{3Mg}{S}\right)\ell_1^{5/3},$$

である。これより、$\ell_1 \fallingdotseq (1 - 6Mg/5P_0S)\ell$ である。

(3) $\mathit{\Delta} U = \mathit{\Delta}(3PV/2)$ であり、圧力変化が $\mathit{\Delta} P = 2Mg/S$、体積変化が $6Mg\ell/5P_0$ であることを考えれば、

$$\frac{\mathit{\Delta} U}{P_0S\ell} = \frac{3}{2P_0S\ell}((P_0 + \mathit{\Delta} P)(S\ell + \mathit{\Delta} V) - P_0S\ell) \fallingdotseq \frac{24Mg}{5P_0S}.$$

(4) ボイル・シャルルの法則より、求める温度は、

$$\frac{P_0S\ell(1 + 3Mg/P_0S)(1 - 6Mg/5P_0S)}{P_0S\ell(1 + Mg/P_0S)}\,T_0 \fallingdotseq \left(1 + \frac{4Mg}{5P_0S}\right)T_0.$$

(5) この変化は定圧変化であるから、

$$\frac{Q}{P_0S\ell} = \frac{5}{2P_0S\ell}(P\mathit{\Delta} V) = \frac{5}{2}\left(\left(1 + \frac{3Mg}{P_0S}\right)\cdot\frac{6Mg}{5P_0S}\right) \fallingdotseq \frac{3Mg}{P_0S}.$$

$\boxed{4}$

解答

(1) ア　(2) エ　(3) イ　(4) ア　(5) カ

解説

(1) 三平方の定理より、$\sqrt{L^2+\left(x+\frac{1}{2}\,d\right)^2}$ である。

(2) 前問の結果に近似式を適用すると、S_1 と S_2 からの点 P までの距離の差は、

$$\sqrt{L^2+\left(x+\frac{1}{2}\,d\right)^2}-\sqrt{L^2+\left(x-\frac{1}{2}\,d\right)^2}\fallingdotseq L\left(\left(1+\frac{0.5}{L}\cdot\left(x+\frac{1}{2}\,d\right)^2\right)-\left(1+\frac{0.5}{L}\cdot\left(x-\frac{1}{2}\,d\right)^2\right)\right),$$

より、dx/L となる。よって、$d\Delta x/L=\lambda$ より、$\Delta x=L\lambda/d$ である。

(3) 波の振幅の二乗にエネルギーは比例するので、振幅が 1/2 になったことにより、明るさは 1/4 となる。

(4) S_1 から P までの光路が実質 $(n_f-1)D$ だけ増加したことになるので、0 次の回折光の位置は

$$\frac{dx}{L}+(n_f-1)D=0,$$

を満たし、x は負の方向へ $(n_f-1)LD/d$ だけ動くことになる。

(5)

$$\frac{dx}{L}+(n-1)D=-\lambda,$$

の解 x が波長によらず定まることがわかる。よって、$n=b\lambda+c$ を代入すれば、$b=-1/D$ がわかる。